

# 短距离低功率无线通信接入系统

## Short Distance Low Power Wireless Communication Access System

谈振辉/TAN Zhen-hui, 乔晓瑜/QIAO Xiao-yu

(北京交通大学, 北京 100044)

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

中图分类号: TN929.5; TP393.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2009) 04-0039-05

**摘要:** 短距离低功率无线通信接入技术主要集中在物理层和媒体访问控制(MAC)层,包括蓝牙、超宽带(UWB)和Wi-Fi等。蓝牙是链接近距离设备的电缆数据传送的辅助技术;UWB作为窄脉冲无线电技术链接众多电子设备,提供宽带无线接入的灵活性和移动性;Wi-Fi给快速接入设备和WLAN内移动设备提供无线链接,用于较长距离链接,支持一定功率的移动终端接入。短距离低功率无线通信接入系统的标准化进程非常快,辅助标准多,但目前仍以蓝牙和Wi-Fi为主。

**关键词:** 短距离无线通信;蓝牙;超宽带;Wi-Fi

**Abstract:** Short distance low power wireless communication access technologies mainly concentrate in the physical layer and media access control (MAC) layer, including Bluetooth, Ultra-Wideband (UWB), Wi-Fi, etc. Bluetooth is a supplementary technology for short distance data transmission between devices; UWB is a type of narrow band pulse wireless technology for the connection with a variety of devices, providing fair flexibility and mobility; Wi-Fi is used to provide wireless connection for both instant access equipment and WLAN mobile devices, applied in long distance connection and to support the access for a certain power mobile terminals. Although the standardization progress of short distance low power wireless communication access systems is very fast and there are many supplementary standards, the most dominant ones are still Bluetooth and Wi-Fi.

**Key words:** short distance wireless communication; Bluetooth; UWB; Wi-Fi

**短**距离低功率无线通信接入系统主要用于小于100 m短距离和1~100 mW低功率的无线信息传输,可解决最后一公里接入和热点区通信覆盖问题。相比有线局域网(LAN)系统而言,具有用户可动态移动地接入或拆离网络,在不同的环境中具有终端移动性,容易调度无线网络资源等优点。但缺点是无线媒介广播信道

带来的低可靠性、低数据速率和高功率消耗。无线空中接入带来的数据加密和用户安全问题。

短距离低功率无线通信接入技术主要集中在物理层和媒体访问控制(MAC)层标准,如IEEE 802.15的蓝牙技术和超宽带(UWB),IEEE 802.11的Wi-Fi。蓝牙作为链接近距离设备的电缆数据传送的辅助技术,

UWB作为窄脉冲无线电技术链接众多电子设备,提供宽带无线接入的灵活性和移动性,Wi-Fi作为计算机和计算机链接电缆LAN的延伸,无缝隙地扩展至短距离无线环境中,提供互操作功能和多媒体业务。

### 1 蓝牙

1994年Ericsson研究以低功率通信系统替代短距离移动的电缆通信系统,1998年Ericsson、Nokia、IBM、Toshiba和Intel成立蓝牙特别兴趣小组(SIG),1999年蓝牙SIG发布第一版蓝牙协议,2000年3COM、Agere、Microsoft和Motorola加入蓝牙SIG。2002年IEEE 802.15小组采纳蓝牙协议作为IEEE 802.15.1<sup>[1]</sup>。

蓝牙作为无线个域网接入技术主要用于短距离、低成本电缆传输辅助标准,也作为链接其他网络的网桥或ad hoc分布式网络中的节点。通电后,蓝牙设备侦听主设备的询问并响应。一旦主设备掌握从属设备的地址,主设备启动链接从属设备的程序,从属设备响应主设备的询问,建立跳频序列同步,进行认证和通信。而没有认证和参与传输的设备则进入带宽和功率节省模式。

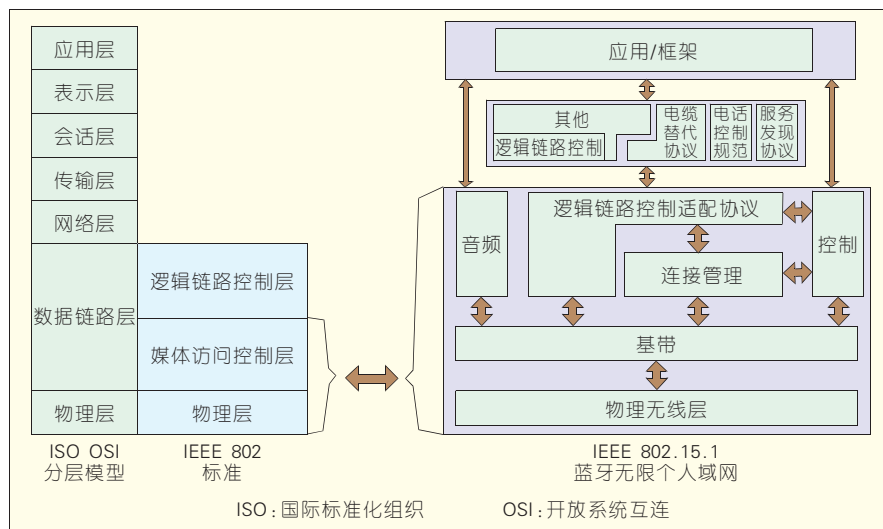
蓝牙替代长度较短电缆,等效全向辐射功率(EIRP)为30~100 mW或15~20 dBm。蓝牙在2.4 GHz频带的2.4~2.4835 GHz带宽上,以1 MHz宽信道,1 Mb/s信息速率和高频移键控(GFSK)调制进行跳频扩频,来自跳频的频率分集增益和在MAC层采用自动重发请求(ARQ)纠错,对抗强窄带干扰。蓝牙与IEEE 802.11g和微波共用2.4 GHz频带,采取自适应频率跳变图案,来抵抗干扰。在链路层具有适配多速率灵活性,蓝牙的速率为分为固定1 Mb/s速率和多种可变速率,以适应变化的无线应用环境。蓝牙也采用标准为IEEE 802.15.3a基于精确定时高速窄带脉冲的UWB宽频信号。

在业务质量方面,蓝牙面向无连

接的异步链路 (ACL) 采用复杂信道接纳控制和计划策略来保证服务质量 (QoS)。异步业务 QoS 参数有长周期数据速率、峰数据速率、等待时间和抖动。蓝牙还在面向连接的同步链路 (SCO) 提供同步恒定比特速率业务。蓝牙空间容量为总数据传输速率与所覆盖传输面积的比。蓝牙覆盖 20 个直径为 10 m 的微微区, 每个微微区的最大数据传输速率为 400 kb/s。蓝牙空间容量为每平方米 25 kb/s。微微区的流量均由蓝牙的主机点控制, 微微区主机控制从属接入信道, LAN 接入协议链接外部网。蓝牙散射网结构均是拓扑可变的 ad hoc 网络, 散射网为微微区子结构, 由 IP 层以全球寻址和路由寻找机理提供移动站间的全球链接功能。

蓝牙采用查询程序和寻呼方式来发现处于覆盖区的设备, 并建立新的链接。主机周期地启动查询程序来发现位于其覆盖区设备的 MAC 地址表, 利用从属的 MAC 地址和时钟, 主设备以寻呼方式查询。蓝牙定义了无线接口和允许设备互相鉴别与提供业务的通信栈, 蓝牙通信栈如图 1 所示。图 1 的链接管理层负责链接结构类型、认证、加密、QoS、功率消耗和传输格式等。控制层给链接管理层和基带提供命令接口, 给硬件设备提供相关接口。逻辑链路控制适配协议 (L2CAP) 给上层提供链接和无链接的业务 (如来自上层协议数据单元的分割和组装、支持 QoS)。可直接在 L2CAP 上利用 RFCOMM 的点对点协议 (PPP)。

蓝牙设备可工作在主属和从属模式<sup>[2]</sup>, 1 个主属设备和 7 个从属设备构成的微微网作为最蓝牙的基本网络。在等待模式, 从属移动站数可达 255, 此时移动站不参与数据交换, 仅与主机保持同步。微微网可进一步链接构成散射网。散射网的拓扑为多跳无线网络, 两个节点之间无直接路由, 必须通过其他节点来中继。另外, 两个微微网可通过归属于两个微微



▲图1 蓝牙通信栈

网的公共节点来通信, 该节点可作为一个微微网的主节点或其他微微网的从属节点。

蓝牙的加密类型可分成 3 类, 即无加密的类型 1、信道建立后在业务层加密的类型 2、信道建立前在链路层加密的类型 3。分成两个加密层次, 即信任和非信任层次。加密业务分成 3 个层次, 即开放业务、认证业务和认证鉴别业务层次。链路层的鉴别和加密依靠 4 个基本参数, 即蓝牙对应的长度为 48 比特的地址识别器、专用鉴别密钥、专用加密密钥和长度为 128 比特的频率变化随机数。

## 2 超宽带

不同于常规连续波无线电技术, UWB 在窄脉冲序列上进行大信息量的编码, 以极低功率谱扩展在超宽带频谱上传输。UWB 技术可用于无线自组织网络、无线光通信 (FSO)、ZigBee、无线射频识别 (RFID)、光纤无线电 (ROF)、蓝牙和家庭网络 (HomeRF) 中。短距离低功率无线通信接入系统采用 UWB 技术有下述优点:

### (1) 容量高

信号能量扩展在超宽带频谱上, 呈现白噪声功率谱, 可以提高信道容量。

### (2) 多径低衰落概率和对干扰

免疫力强

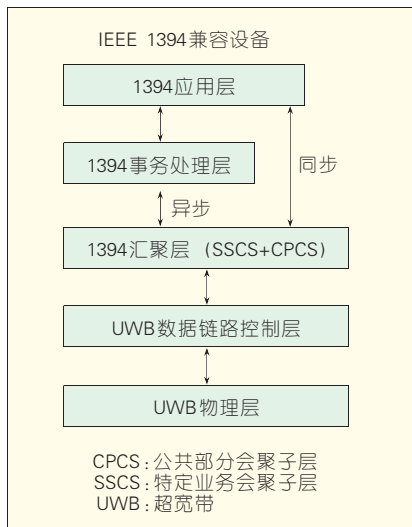
基于窄脉冲的数据传输信号在多径信道中的分辨率往往在 1 ns 以下数量级, 可以明显减弱多径衰落影响。对干扰的免疫力正比于信号带宽。信号带宽越宽, 对干扰的免疫力就越强。

### (3) 时间分集和频率分集

UWB 脉冲持续时间非常窄, 在前脉冲间离散分布着空隙, RAKE 接收机容易把不同路径抵达的 UWB 脉冲信号组合起来, 增强被检测信号的强度。IEEE 802.15 标准的 UWB 作为无线个域网 (PAN) 的首选技术, 具有 100 Mb/s ~ 1 Gb/s 的高数据率、低功耗和低成本等优点。但是它占据极宽带宽, 在与其他通信系统共享频道时, 会产生干扰和兼容问题<sup>[3]</sup>。

一种 UWB 系统协议栈结构如图 2 所示。IEEE 1394 会聚层类似 IEEE 1394 链路层, 负责事务处理层和 UWB 低层次之间的映射, 会聚层含有 IEEE 1394 特定业务会聚子层 (SSCS) 和公共部分会聚子层 (CPCS)。

在 UWB 系统的物理层和数据链路层中, 以信息符号调制窄脉冲序列的相位。UWB 脉冲调制可采用双相高斯脉冲调制, 脉冲振幅调制或脉冲间隔严格地按照基带高斯脉冲的脉位调制。典型脉冲宽为 0.2 ~ 2.0 ns,



▲图2 协议栈结构

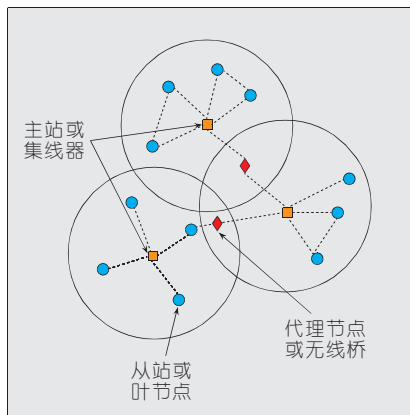
脉冲间隔为10 ~ 100 ns, 脉冲位置可以是等间隔、随机或伪随机间隔等。

UWB集中控制的网络拓扑结构如图3所示。采取ad hoc网络中P2P通信和自组织集中控制模式,它由若干微微网组成,每个微微网选择一个主站并自动控制其他副站。若UWB用于分布控制的网络拓扑结构,则难于控制各节点的输出功率和干扰。

欲进一步扩展UWB系统的覆盖面积,数据流控制和网络层管理通过两类网桥连接UWB无线总线和IEEE 1394骨干网,见图4所示。其中,IEEE 1394网桥作为有线与无线总线的接口,对在IEEE 1394骨干网和UWB无线总线间数据流来说,提供的功能包括:同步信道建立,信道与UWB数据链路信道的逻辑映射;有线与无线间异步分组和控制数据流的路由选择;IEEE 1394和UWB间的时钟同步,帧和分组同步;增加或减少IEEE 1394节点和UWB移动终端数,配置相应的频率资源。

### 3 Wi-Fi

1997年IEEE通过速率为1 Mb/s或2 Mb/s, MAC和物理层带宽为2.4 GHz (北美洲2.4 ~ 2.4835 GHz, 日本2.471 ~ 2.497 GHz) 的IEEE 802.11作为Wi-Fi标准, 给快速接入设备和无



▲图3 UWB集中控制的网络拓扑结构

线局域网(WLAN)内移动设备提供无线链接。Wi-Fi规定接入物理媒介的MAC程序、MAC层处理移动性和邻近小区间的越区切换。1997年IEEE公布速率为6、9、12、24、36、48和54 Mb/s, 带宽为5 GHz的IEEE 802.11a<sup>[4]</sup>。它不能采用IEEE 802.11h的动态频率选择和自适应功率控制技术, 经过Lucent和Harris的验证, 又批准速率为5.5或11 Mb/s的IEEE 802.11b<sup>[5]</sup>。2003年公布性能类似IEEE 802.11a标准, 而带宽为2.4 GHz与IEEE 802.11b兼容的IEEE 802.11g<sup>[6]</sup>。

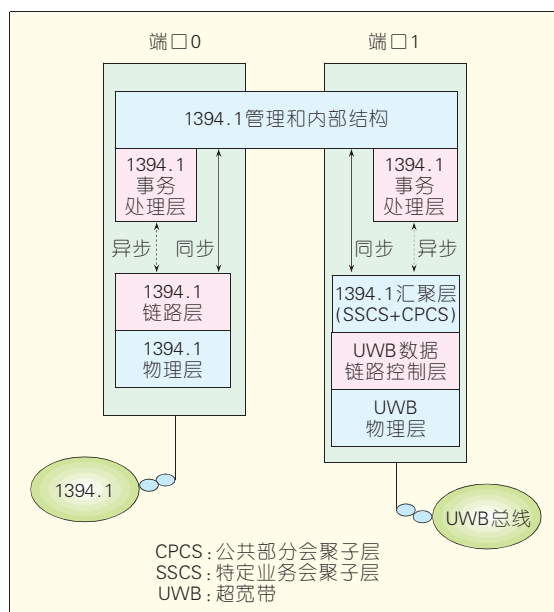
Wi-Fi除了使用5 GHz频带外, 采用16 MHz宽信道的直接序列扩展频谱(DSSS)、辅助编码键控(CCK)和OFDM技术。DSSS技术可对抗宽带噪声。Wi-Fi收发在同一频率, 重传分组的增益来自时间分集。Wi-Fi在物理层适配速率, 且对高层透明, 依据不同速率采用不同的调制。Wi-Fi的速率范围为1 ~ 54 Mb/s。Wi-Fi在MAC层采用ARQ纠错、编码和复用技术, 来避免噪声影响。IEEE 802.11a和无绳电话共用5 GHz频带, Wi-Fi采取发射功率控制技术来抵抗干扰。

一接通Wi-Fi移动站的电源, 移动站就扫描所有无线信道, 寻找发射信标的主

网络, 选择含有Wi-Fi移动站的ad hoc网络, 以接入点(AP)鉴别、认证和链接Wi-Fi移动站, 提供从尽力而为到优先确保的QoS。当Wi-Fi移动站成为ad hoc网络的组成部分时, Wi-Fi移动站具有发现新网络或脱离旧网组成新网络的能力。Wi-Fi移动站可在通信网络间漫游, 共享公共分布系统资源, 进行无缝移动传输。当Wi-Fi移动站成为固定通信基础设施后, 接入点就解鉴别和解融合, 并处于休眠的状态。

Wi-Fi定义两种接入方式: 即分布协调方式(DCF)和点协调方式(PCF)。最简单的网络结构是独立基本业务集, 它至少含有两个基站的ad hoc网络拓扑, 基本业务集为延伸业务集的扩展网络。在固定通信基础中, 延伸业务集是以分布系统相连的一组基本业务集。Wi-Fi网络的典型组成单元如图5所示。基站提供的业务分为基站业务和分布系统业务, 分布系统业务允许数据在归属于不同基本业务集的基站间传输。

Wi-Fi在链路层鉴别用户设备以保证可靠的接入, 鉴别用户设备有两种鉴别方法。一种是开放系统鉴别(OSA), 另一种是共享密钥鉴别



▲图4 网桥连接UWB无线总线和IEEE 1394骨干网



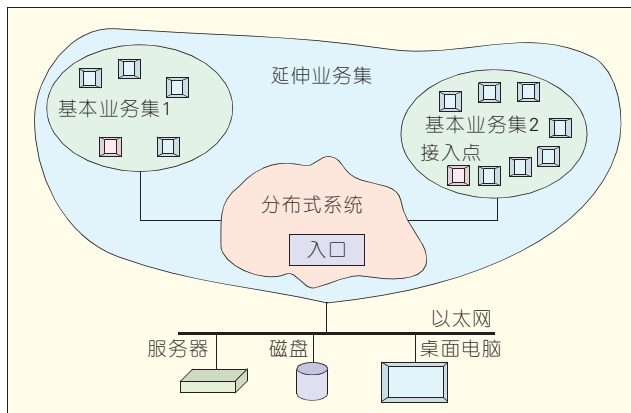


图5  
Wi-Fi网络的组成单元

(SKA)。以IEEE 802.1X/EAP为框架的通信设备可提供不同安全强度的选择算法。

Wi-Fi的WLAN结构基于基本业务集(BSS),基本业务集为一组移动或固定Wi-Fi移动站,以一定控制方式接入网络传输媒介。Wi-Fi允许存在4个无干扰基本业务集,在覆盖直径100 m的基本业务集的数据传输速率为910 kb/s,或在覆盖直径10 m的基本业务集内数据传输速率为31.4 Mb/s。IEEE 802.11g的空间容量在最低速率时为每平方米0.1 kb/s,在最大速率时为每平方米400 kb/s。

Wi-Fi采用的复用技术有:直扩扩频和正交频分复用(OFDM),直扩扩频使用11比特Barker序列,11码片序列调制一个信息比特,1 Mb/s和2 Mb/s的调制分别采用二进制相移键控(BPSK)和正交移相键控(QPSK),辅助编码键控为16比特序列编码4或8个信息比特。

在固定通信基础结构网络和ad hoc网络中,Wi-Fi移动站以DCF运行MAC协议,以CSMA/CA作为接入信道技术。基本DCF接入有多种类型,移动站可优化选择RTS/CTS机理,来降低隐藏终端带来的碰撞现象。网络安置矢量(NAV)作为移动站计数器,计算数据传输的终止时刻。IEEE 802.11e定义新的协调方式为加强型分布信道接入(EDCA)和HCF控制信道接入(HCCA),共同提供混合协调功能(HCF)。EDCA提供8个数据优先等

级,每个移动站以不同的帧间距(IFS)值赋予不同优先等级的信道。较高等级的排队使用较短IFS,获取接入信道的较高优先权和优先退避时间。在HCCA中有一移动站承担集中控制混合协调功能。

HCCA可确保业务速率、时延和抖动的QoS。

由于短距离低功率无线通信接入系统中无线分组经常会丢失,在任意时间间隔上难以保持加密和解密之间的同步。Wi-Fi安全框架采用应用流密码RC4的无线等效专用(WEP)协议。2002年定义无线保护接入(WAP)作为WEP的改进,并被IEEE 802.11i采用。

WAP以802.1X/EAP为框架,暂时密钥完整协议(TKIP)用于加密密码,扩展鉴别协议(EAP)用于鉴别。2004年IEEE 802.11i工作小组公布WAP2为基于IEEE 802.1X和EAP的综合鉴别框架,不同应用环境的鉴别和密钥产生不同的EAP。定义两组密码组,即现有设备的升级软件TKIP和基于AES

的CCMP。

## 4 功耗控制

短距离低功率无线通信接入系统主要用于短距离移动和有限电源的袖珍终端接入通信。其中,蓝牙和UWB提供非常低的功率消耗,而Wi-Fi用于比较长距离链接,支持一定功率的移动终端接入。

### 4.1 蓝牙的功率管理

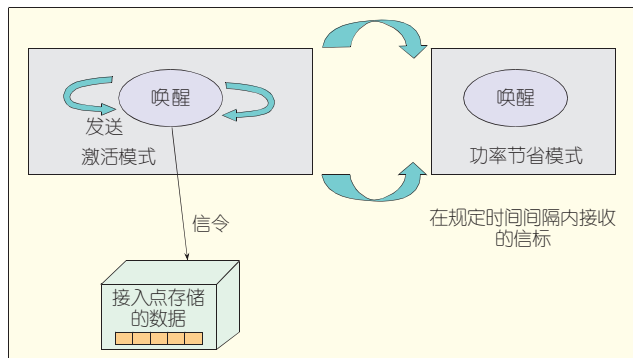
蓝牙的功率管理方式有:仅有时钟运行而无数据交换的备用方式和终端设备链接到微微网主机上的数据交换方式。链接分为4种模式,即激活模式,位于微微网的设备处于主动状态;侦听模式,以低功率消耗处于侦听状态;保持模式,设备ACL流量在一定期间被阻止;等待模式,设备不再属于微微网的成员,仍然保持与微微网主机同步,处于最低功率消耗。

CSR公司研发出CMOS单片蓝牙设备,单片蓝牙包括基带蓝核和无线蓝核。其中,基带蓝核含有承担链路控制器、链路管理和主机控制器接口层功能的固件。无线蓝核提供闪烁储存和节约功率能力。蓝核有两种低功率节省模式,即浅睡模式,降低处理器时钟速率;深睡模式,大部分电路处于关闭状态。

### 4.2 固定通信基础网络的Wi-Fi功率管理

Wi-Fi设备有两个状态,即唤醒模式和处于不发射又不接收的欲睡状

图6  
固定结构网络的Wi-Fi  
功率管理状态



态。它有两个功率管理模式,即激活模式和功率节省模式。图6所示为固定结构网络Wi-Fi的功率管理状态图。处于激活模式的移动站欲进入功率节省模式,必须把分组头的功率管理比特送至接入点。接入点存储所有功率节省模式移动站的流量。经过一定算法,处于功率节省模式的移动站转换至激活模式,以便接收信标,而没有接入的流量的移动站又返回功率节省模式。

#### 4.3 ad hoc网络的Wi-Fi功率管理

由于ad hoc网络中无接入点,处于功率节省模式的移动站发射ad hoc通信量指示信息(ATIM)帧,在ATIM窗期间转换至唤醒状态,由激活站存储所有处于功率节省模式的移动站流量。接收到ATIM帧信息的移动站保持在唤醒状态,以便接收信息流量,直至下一个ATIM窗到达,才返回至功率节省模式。

与固定通信基础网络的功率管理相比,由于无接入点作为参考站,移动站的唤醒或欲睡状态由ad hoc网络的其他移动站来评估。在ATIM窗期间,ATIM帧信息的发射和接收服从DCF和CSMA/CA接入算法。

### 5 短距离低功率无线通信接入系统的最新发展

短距离低功率无线通信接入系统的标准化进程非常快而辅助标准也多,但目前仍以蓝牙和Wi-Fi为主。

从蓝牙技术出现,至今已经有5个核心版本技术。2007年蓝牙技术联盟推出了蓝牙技术的最新版本2.1+EDR,蓝牙技术的传输速率有了很大提高。2.0+EDR跟以前版本的最大分别就是有了增加数据速率(EDR)功能,蓝牙一般的速率为1 Mb/s,增加了EDR技术速率就可以达到2 Mb/s或者3 Mb/s。2009年,蓝牙联盟还将推出两种技术<sup>[7]</sup>:一种是高速率解决方案、一种是低功耗技术。

2006年,蓝牙技术联盟宣布选择

WiMedia联盟的UWB技术作为蓝牙技术的高速解决方案。同时蓝牙技术联盟还充分利用Wi-Fi,将802.11a、b和g标准添加到蓝牙802.11 AMP规范中,实现设备互操作和高速数据传输。2008年,蓝牙技术联盟就正式宣布了高速率发展策略,研发新的无线射频替代方案,除支持消费类蓝牙设备继续使用蓝牙协议、功能、安全和配对外,还支持其临时使用设备中预置的备用无线电实现更快的传输速率。蓝牙低功耗规范,将满足消费类电子产品行业对通信交互式远程控制的需求。据了解,蓝牙低功耗技术专门设计用于需要超长电池寿命的设备,面向需要在不同厂商的产品间实现交互的人群。

UWB技术的使用必须解决与其他无线系统共存的问题。针对UWB与4G的共存研究,检测避免(DAA)作为UWB的防干扰技术在日本和欧洲已经受到重视。目前有:融入OFDM、扩频与交织、跳频等机制的MB-OFDM-UWB方案;将多输入多输出(MIMO)技术用于UWB系统的MI-MO-OFDM-UWB设想;UWB与Mesh结合的应用;UWB与智能天线的融合等研究方向。

Wi-Fi联盟于2006年末推出了Wi-Fi保护设置(WPS)技术<sup>[8]</sup>,该技术结合目前最安全的加密方式WPA/WPA2和简单方便的配置方式于一体,使无线局域网的相关产品更易于被普通用户接受。下一步Wi-Fi的趋势是采用MIMO技术,Airgo公司已研发与Wi-Fi兼容的速率为108 Mb/s的MIMO芯片,IEEE 802.11n工作小组规定MIMO物理层的定义。

### 6 参考文献

- [1] IEEE Std 802.15.1-2005. IEEE standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements, Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs) [S]. 2005.
- [2] FERRO E, POTORTI F. Bluetooth and Wi-Fi

wireless protocols: A survey and a comparison [J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(1): 12-26.

- [3] QIU R C, LIU H, SHEN X., Ultra-wideband for multiple access communications [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(2): 80-87.
- [4] ISO/IEC 8802-11:1999/Amd 1:2000(E); IEEE Std 802.11a-1999. Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements, Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 1: High-speed physical layer in the 5 GHz band [S]. 2000.
- [5] IEEE Std 802.11b-1999. Supplement to IEEE standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements, Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band [S]. 1999.
- [6] IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edn (Reaff 2003) as amended by IEEE Std 802.11a-1999, 802.11b-1999, 802.11b-1999/Cor 1-2001, and 802.11d-2001). IEEE standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements, Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications [S]. 2003.
- [7] HEYDON R. 蓝牙+UWB——高速无线通信的未来发展 [J]. 电子设计应用, 2007, 33(12): 4-5, 7.
- [8] Wi-Fi protected setup specification [R]. Austin, TX, USA: Wi-Fi Alliance. 2007.

收稿日期: 2009-01-13

#### 作者简介



谈振辉, 北京交通大学教授、博士生导师, 第一、二、三届中国“863”计划通信主题个人通信专业专家组成员, 主要从事无线ATM、扩频通信、个人通信方面的研究, 已发表研究论文60余篇。



乔晓瑜, 北京交通大学在读博士研究生, 主要研究方向为宽带无线移动通信、无线资源管理、认知无线电。